



مدل سازی و بهینه سازی تاثیر پارامترهای ماشین کاری بر سایش ابزار و زبری سطح قطعه با روش رویه پاسخ و تابع مطلوبیت

ولی علی میرزالو^{۱*}، وحید مدانلو^۲، منصور کریمی تکانلو^۳

۱- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۲- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه

*alimirzaloo@urmia.ac.ir ۵۷۱۵۳-۱۶۵، صندوق پستی

چکیده

سایش ابزار و زبری سطح قطعه دو پارامتر مهم در ارزیابی فرآیندهای ماشین کاری هستند. در این تحقیق با استفاده از روش های رویه پاسخ و تابع مطلوبیت، تاثیر پارامترهای ماشین کاری بر سایش سطح براده ابزار و زبری سطح قطعه کار از جنس فولاد ۴۱۴۰ مدل سازی و بهینه سازی شده است. ابتدا با انتخاب سطوح برای هر یک از پارامترهای ورودی (سرعت پیشروی، عمق برش، مدت زمان و سرعت برش)، آزمایش های لازم طراحی شده است. سپس با انجام عملی آزمایش ها به وسیله ماشین تراش کنترل عددی، میزان سایش سطح براده ابزار و زبری سطح نمونه ها به عنوان توابع هدف استخراج شده است. در مرحله بعد تاثیرات اصلی و متقابل پارامترها بررسی شده و مدل رویه پاسخ توابع هدف بدست آمده است. در نهایت با استفاده از روش بهینه سازی چند هدفه تابع مطلوبیت، مقادیر بهینه برای پارامترهای ورودی بدست آمده است. نتایج نشان می دهد که فرایند با روش رویه پاسخ با دقت خوبی مدل سازی شده است و با بهینه سازی مقادیر پارامترهای ورودی، مقدار سایش و زبری سطح کمینه حاصل شد. همچنین بررسی اثر پارامترها نشان می دهد که با افزایش پیشروی، زبری سطح قطعه و سایش ابزار افزایش یافته و با افزایش سرعت برشی، سایش افزایش یافته و زبری سطح کاهش می یابد.

کلید واژگان: ماشین کاری، سایش ابزار، زبری سطح، رویه پاسخ، تابع مطلوبیت

Modeling and optimization of the machining parameters effects on the tool wear and surface roughness by the response surface and desirability function method

Vali Alimirzaloo*, Vahid Modanloo, Mansour Karimi Takanlou

Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
*P.O.B. 57153-165 Urmia, Iran, v.alimirzaloo@urmia.ac.ir

ABSTRACT

Tool wear and surface roughness of the workpiece are the important parameters in evaluation of the machining processes. In this research, effect of the machining parameters on the tool wear and surface roughness of the 4140 steel workpiece have been modeled and optimized using the response surface and desirability function approaches. First, required experiments have been designed by specifying the level of the input parameters (feed rate, cutting depth, operation time and cutting speed). Then, the experiments have been performed using a CNC lathe and tool wear and workpiece surface roughness have been measured as objective functions. In the next stage, main and interaction effects of the parameters investigated and response surface model of the objective functions obtained. At last, optimized value of the input parameters have been gained using the desirability function method as a multi objective optimization approach. Results showed that the process has been modeled precisely and minimized value of the surface roughness and tool wear obtained by optimizing the input parameters. Investigation of the parameters effects showed that the surface roughness and tool wear increase as the feed rate increases and tool wear increases and surface roughness decreases as the cutting speed increases.

Keywords: Desirability Function, Machining, Response Surface, Surface Roughness, Tool Wear.

این عوامل، تحلیل دقیق فرآیندهای ماشین کاری را مشکل می سازد. سایش ابزار و صافی سطح از مهم ترین پارامترها در فرآیند ماشین کاری می باشند. از یک سو، کاهش سایش ابزار نقش مهمی را در هزینه عملیات ماشین کاری ایفا می کند و از سوی دیگر، صافی سطح قطعات مهم ترین نقش را در کیفیت قطعات دارد. سایش ابزار شکست تدریجی ابزار برشی است که وقوع آن غیر قابل اجتناب است. زمانی که فرآیند ماشین کاری با فرسودگی ابزار ادامه پیدا می کند، هزینه و زمان تولید افزایش می یابد. سایش ابزار در طی فرآیند

۱- مقدمه

ماشین کاری یکی از مهم ترین فرآیندهای تولید قطعات فلزی بوده که کاربرد گسترده ای در صنایع مختلف دارد. به منظور رقابتی نمودن محصولات تولید شده با این فرآیند، بایستی هزینه ها کاهش و کیفیت تولید افزایش داده شود. سایش ابزار و زبری سطح ناشی از فرآیند، دو عامل مؤثر در هزینه ها و کیفیت قطعات تولیدی می باشد که از عوامل مختلفی مانند پارامترهای دستگاه، جنس قطعه کار و روان کار در ماشین کاری متاثر می شود. ارتباط متقابل بین

Please cite this article using:

V. Alimirzaloo, V. Modanloo, M. Karimi Takanlou, Modeling and optimization of the machining parameters effect on the tool wear and surface roughness by the response surface and desirability function method, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Advanced Machining and Machine Tools Conference*, Vol. 15, No. 13, pp. 192-197, 2015 (in Persian فارسی)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

ماشین کاری سبب می شود نیروی برشی افزایش یابد [۱]. تخمین سایش و شناسایی شکست در ابزار یکی از مهم ترین مشکلات در ماشین های CNC مدرن می باشد. اجرای سیستم نظارت بر شرایط صحیح ابزار، اطلاعاتی را از سایش ابزار به واحد کنترل دستگاه CNC برای عملکرد مناسب می فرستد [۲]. سیله [۳] با روش طراحی آزمایش ها تاثیر سختی قطعه کار و هندسه لبه ابزار بر زبری سطح قطعه را بررسی کرد و نتیجه گرفت که که هندسه لبه ابزار و سرعت پیشروی بر کیفیت سطح قطعه موثر است. پالانیسمی [۴] یک مدل رگرسیون و مدل شبکه عصبی مصنوعی^۱ برای پیش بینی سایش ابزار در مقابل پارامترهای مختلف تراش کاری از جمله سرعت برشی، سرعت پیشروی و عمق برش ارائه کرده و مدل ریاضی را با آزمایش های تجربی ارزیابی کرده است. پریکت و جانز [۵] یک رویکرد اجمالی برای تکنیک های هشداردهنده اتمام ابزارهای فرزکاری به منظور شناسایی سایش ابزارهای برشی و شکست طی فرآیند فرزکاری را ارائه دادند. کوآن و فیشر [۶] راهنمای سایش ابزار و مدلی برای اندازه گیری عمر ابزار برای تحلیل سطح ناحیه سایش و ضایعات ابزار برای استفاده میکروآپتیک^۲ و الگوریتم تحلیل و فرآیندسازی ارائه کردند. آن ها استراتژی کنترل بهینه را پیشنهاد کردند که نشان می داد که چگونه هزینه های تولید را با سازگاری پارامترهای ماشین کاری و استفاده از ابزارها با محدودیت های شرایط ماشین کاری می توان به حداقل رساند. اورابی و هاپورست [۷] مدلی را برای شناسایی عمر و سایش ابزار با استفاده از تکنیک های تحلیل رگرسیون غیرخطی پیشنهاد دادند. دهار و همکارانش [۸] تاثیر خنک کاری سرمازایی^۳ را در ماشین کاری فولاد ۴۱۴۰ بررسی کرده اند. فولاد ۴۱۴۰ در ساخت ماشین آلات مانند غلتک های نورد استفاده می شود. تاکنون در عملیات ماشین کاری فولادها، تاثیرات اصلی و متقابل پارامترهای موثر فرآیند شامل پیشروی، عمق برش، زمان و سرعت برش به طور همزمان در سایش سطح براده ابزار و زبری سطح قطعه به ویژه در ماشین کاری فولاد ۴۱۴۰ مطالعه نشده است. همچنین، رابطه جامعی که سایش سطح براده ابزار و صافی سطح قطعه کار را براساس هر چهار پارامتر مذکور تعریف کند، ارائه نشده است. در این تحقیق تاثیر پارامترهای فرآیند بر سایش ابزار و زبری سطح قطعه با استفاده از روش رویه پاسخ مدل سازی و بررسی شده است و توسط روش بهینه سازی چند هدفه تابع مطلوبیت بهینه سازی شده است.

۲- طراحی و اجرای آزمایش ها

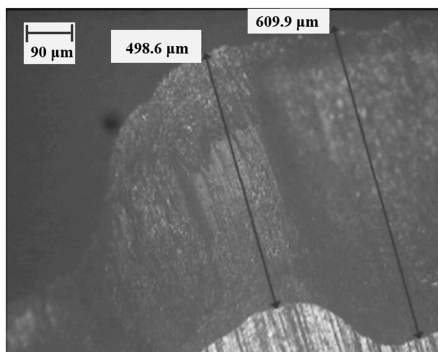
براساس مطالعات قبلی، پارامترهای سرعت دورانی، سرعت پیشروی، عمق برش و مدت زمان عملیات از مهم ترین پارامترهای تاثیر گذار بر میزان سایش ابزار در سطح براده ابزار می باشند. در این مقاله با در نظر گرفتن مطالعات قبلی و محدودیت های دستگاه، سطوح پارامترهای ورودی به صورت جدول ۱ در نظر گرفته شد. طراحی آزمایش ها به روش طراحی بهینه طرح عاملی و با استفاده از نرم افزار مینی تب^۴ انجام شده است [۹]. با توجه به سطوح پارامترها، تعداد ۳۰ آزمایش طراحی شد. برای انجام عملیات ماشین کاری نمونه ها، دستگاه تراش CNC مدل میانوفانووک^۵ به کار گرفته شد و از تیغچه الماسه سندویک^۶ به عنوان ابزار برشی استفاده شد. عملیات ماشین کاری به صورت خشک و بدون روان کار بر روی نمونه ها مطابق شکل ۱ انجام شد. با انجام آزمایش ها، مقدار سایش سطح براده ابزار با استفاده از یک

جدول ۱ محدوده و سطوح عوامل ورودی

پارامتر	مقادیر سطوح
زمان عملیات (min)	۱ ۳ ۵ ۷
سرعت دورانی (rpm)	۳۰۰ ۶۰۰ ۹۰۰ ۱۲۰۰
سرعت پیشروی (mm/min)	۰/۱ ۰/۳ ۰/۵ ۰/۷
عمق برش (mm)	۰/۲۵ ۰/۵ ۰/۷۵ ۱



شکل ۱ نمونه های تراش کاری شده



شکل ۲ اندازه گیری سایش سطح براده ابزار با میکروسکوپ نوری

جدول ۲ طرح آزمایش ها و نتایج

شماره آزمایش	زمان عملیات (min)	سرعت دورانی (rpm)	سرعت پیشروی (mm/min)	عمق برش (mm)	سایش ابزار (μm)	صافی سطح (μm)
۱	۷	۱۲۰۰	۰/۷	۱	۷۸	۱۷
۲	۱	۳۰۰	۰/۷	۱	۳۰	۲۲
۳	۳	۱۲۰۰	۰/۱	۱	۵۰	۱/۲۷
۴	۵	۱۲۰۰	۰/۷	۰/۲۵	۶۹	۲۰
۵	۷	۳۰۰	۰/۱	۰/۲۵	۲۵	۳/۰۵
۶	۱	۱۲۰۰	۰/۷	۱	۷۸	۱۷
۷	۳	۱۲۰۰	۰/۱	۱	۵۰	۱/۲۷
۸	۵	۱۲۰۰	۰/۷	۰/۲۵	۶۹	۲۰
۹	۷	۳۰۰	۰/۱	۰/۲۵	۲۵	۳/۰۵
۱۰	۱	۳۰۰	۰/۳	۰/۵	۲۲	۷/۲
۱۱	۱	۹۰۰	۰/۷	۰/۲۵	۵۳	۱۹/۲

۳- روش مدل سازی و بهینه سازی

برای مدل سازی و استخراج رابطه بین پارامترهای ورودی و خروجی فرایند از روش رویه پاسخ [۱۰] استفاده شد. در این روش برای برازش بین متغیرهای مستقل و تابع پاسخ، معمولاً از مدل مرتبه دوم استفاده می شود. مدل مرتبه دوم یک مدل کاملاً مفید و با اغلب طرح های تجربی سازگار است. فرم کلی این مدل به صورت رابطه (۱) می باشد.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k (\beta_i x_i) + \sum_{i=1}^k (\beta_{ii} x_i^2) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k (\beta_{ij} x_i x_j) + \varepsilon \quad (1)$$

در این رابطه y تابع پاسخ، x_i و x_j متغیرهای مستقل، k تعداد متغیرهای مستقل، $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ ضرایب ثابت مجهول هستند که از تحلیل بدست می آیند و ε خطای آماری است. میزان انطباق مدل با داده های تجربی با ضریب R^2 بیان می شود که طبق رابطه (۲) محاسبه می گردد.

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (2)$$

y_i مقدار حاصل از آزمایش، $\bar{y}_i$ مقدار پیش بینی شده توسط مدل و $\bar{y}$ مقدار میانگین می باشد. بعد از مدل سازی فرایند برای بهینه سازی مقادیر پارامترهای ورودی برای زبری سطح و سایش ابزار کمینه از روش بهینه سازی چند هدفه تابع مطلوبیت استفاده شد. برای بهینه سازی با این روش، ابتدا باید درجه مطلوبیت انفرادی^۱ برای هر پاسخ محاسبه شود. اگر هدف کمینه نمودن یک پاسخ باشد، درجه مطلوبیت از رابطه (۳) حاصل خواهد شد.

$$d_i = 0, \quad y_i > U_i \\ d_i = \left[\frac{(U_i - y_i)}{(U_i - T_i)} \right]^{r_i}, \quad T_i \leq y_i \leq U_i \\ d_i = 1, \quad y_i < T_i \quad (3)$$

در رابطه (۳) d_i درجه مطلوبیت انفرادی، y_i مقدار پیش بینی شده، T_i مقدار مطلوب، U_i بیشترین مقدار قابل قبول و r_i وزن تابع مطلوبیت برای پاسخ i ام می باشد. بعد از محاسبه درجه مطلوبیت انفرادی برای هر پاسخ، به منظور استفاده از آن ها برای ترکیب همه پاسخ ها و پیدا کردن شرایط مطلوب کلی، درجه مطلوبیت ترکیبی^۲ با استفاده از رابطه (۴) بدست می آید.

$$D = \left(\prod (d_i w_i) \right)^{\frac{1}{W}} \quad (4)$$

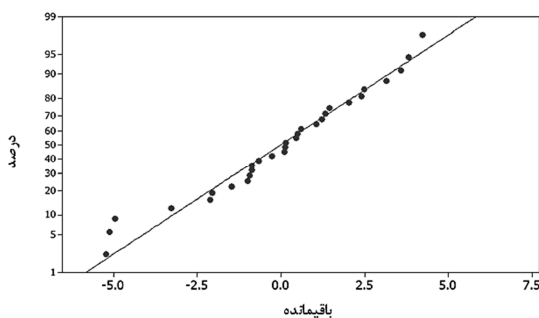
در رابطه (۴)، D درجه مطلوبیت ترکیبی، w_i اهمیت پاسخ i ام و W مجموع وزن ها می باشد. اساس استفاده از روش تابع مطلوبیت بدین صورت است که باید محدوده ای را برای بدست آوردن نقطه بهینه مشخص نمود. برای سایش ابزار و صافی سطح قطعه، ابتدا باید درجه اهمیت، بیشترین مقدار و سپس مقدار قابل قبول را تعیین نمود. برای این موضوع هدف مورد نظر، رسیدن دو تابع به حداقل مقدار ممکن می باشد.

۴- نتایج و بحث

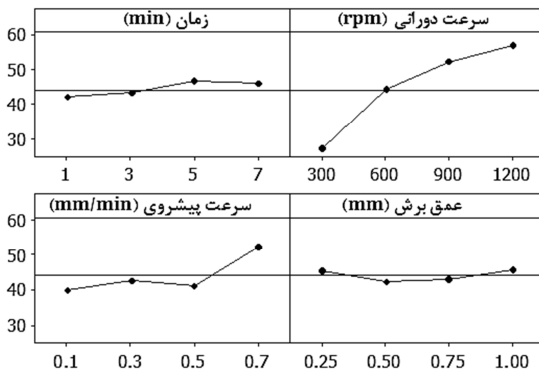
با تحلیل آزمایش ها به روش رویه پاسخ، تأثیر اصلی و متقابل پارامترها و همچنین مدل رگرسیون توابع پاسخ استخراج شد. در شکل ۳ نمودار احتمال نرمال برای سایش سطح براده ابزار آمده است. برازش نقاط حاصل از آزمایشات بر خط مورب نشان دهنده نرمال بودن توزیع داده ها می باشد. شکل ۴ تأثیر اصلی پارامترها را بر روی سایش سطح براده ابزار نشان می دهد. مشاهده می شود که با افزایش سرعت برشی (rpm) و سرعت پیشروی (fr) در محدوده تعیین شده، سایش سطح براده ابزار افزایش می یابد. همچنین با افزایش مدت زمان عملیات ماشین کاری (T_i) سایش سطح براده ابزار مقدار

کمی افزایش یافته و با افزایش عمق برش (dc)، مقدار کمی کاهش و سپس افزایش می یابد.

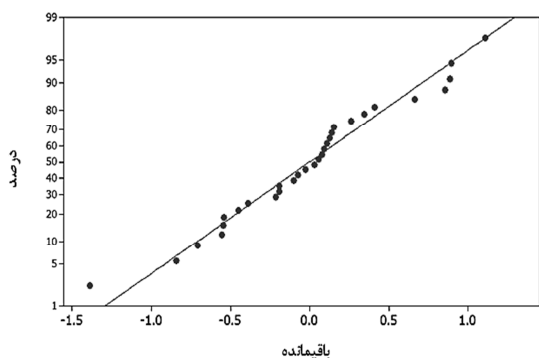
شکل ۵ نمودار احتمال نرمال برای زبری سطح می باشد که بیانگر نرمال بودن توزیع داده ها است. در شکل ۶ تأثیر اصلی پارامترها بر زبری سطح قطعه کار قطعه نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش سرعت پیشروی زبری سطح قطعه کار افزایش یافته و با افزایش سرعت برش کمی کاهش می یابد و تأثیر عمق برش و مدت زمان بر زبری سطح محسوس نیست. تأثیر متقابل دو پارامتر بر یک تابع پاسخ به معنای تأثیر یکی از پارامترها بر تابع پاسخ در سطوح مختلف پارامتر دیگر است. در شکل ۷ تأثیر متقابل پارامترها بر سایش سطح براده ابزار نشان داده شده است. مشاهده می شود که در تأثیر بر سایش سطح براده ابزار، سرعت برشی با سرعت پیشروی تأثیر متقابل ندارند ولی در بقیه حالت ها تأثیر متقابل مشاهده می شود.



شکل ۳ نمودار احتمال نرمال برای سایش سطح براده ابزار



شکل ۴ تأثیر اصلی پارامترها بر سایش سطح براده ابزار



شکل ۵ نمودار احتمال نرمال برای زبری سطح قطعه کار

1. Individual Desirability
2. Composite Desirability

با برازش مدل رویه پاسخ مرتبه دوم بر هر دو تابع پاسخ، مدل رگرسیون سایش سطح براده ابزار و زبری سطح قطعه کار به ترتیب به صورت روابط زیر بدست آمد:

$$\begin{aligned} \text{Wear} = & 10.4165 - 0.901247ti + 0.0578542rpm - \\ & 5.79775fr + 1.70119dc + 10.8188frfr + 1.98711dc \cdot dc + \\ & 0.00306384ti \cdot rpm + 0.408448ti \cdot fr - \\ & 0.781633ti \cdot dc + 0.0268258rpm \cdot fr + 0.00667038rpm \cdot \\ & dc - 0.87295fr \cdot dc \end{aligned} \quad (2)$$

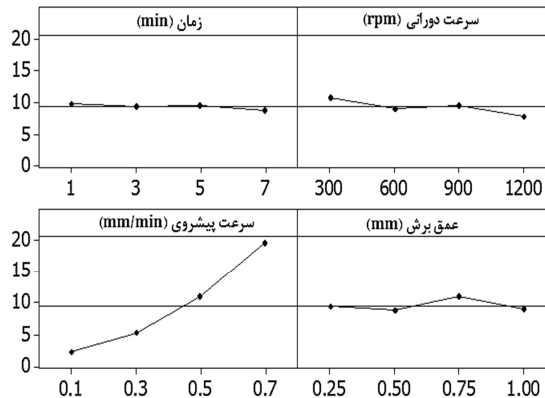
$$\begin{aligned} \text{Roughness} = & -1.46022 + 0.354127ti - \\ & 0.00624224rpm + 5.70689fr + 16.5441dc + 0.006354 \\ & 55ti \cdot ti + 30.6707fr \cdot fr - \\ & 8.11872dc \cdot dc + 0.000573972ti \cdot rpm - 0.828372ti \cdot fr - \\ & 0.887998ti \cdot dc + 0.00461646rpm \cdot fr - \\ & 0.00218961rpm \cdot dc - 2.53507fr \cdot dc \end{aligned} \quad (3)$$

در مرحله بعدی تحلیل واریانس بر روی مدل ها انجام شد و موثر بودن مدل و ضرایب آن بررسی گردید و میزان انطباق مدل با داده ها از لحاظ آماری بدست آمد. در تحلیل های واریانس مقدار α در آزمون F برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته شده که بیانگر این است که در صورتیکه مقدار احتمال P در تحلیل واریانس کمتر از ۰/۰۵ باشد، پارامتر مربوطه با احتمال بالای ۹۵٪ موثر می باشد. مطابق نتایج تحلیل واریانس برای تابع سایش سطح براده ابزار طبق جدول ۳، مشاهده گردید که مقدار احتمال P برای هر سه نوع جمله خطی، درجه دو، متقابل و کل مدل رگرسیون در تابع پاسخ کمتر از ۰/۰۵ است. بنابراین مدل رگرسیون برای تابع سایش سطح براده ابزار قابل قبول است.

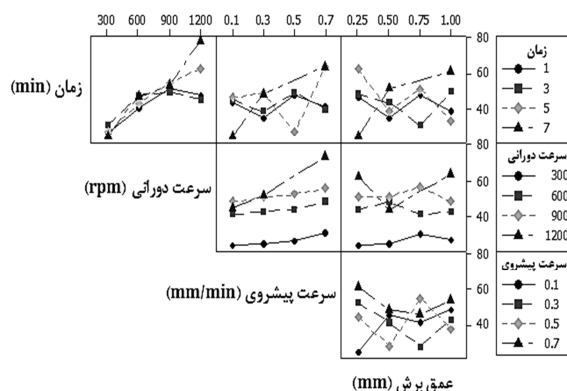
نتایج تحلیل واریانس برای تابع زبری سطح قطعه کار در جدول ۴ آمده است. مشاهده می شود که مقدار احتمال P برای هر سه نوع جمله خطی، درجه دو و متقابل و همچنین کل مدل رگرسیون تابع پاسخ کمتر از ۰/۰۵ است. بنابراین مدل رگرسیون برای تابع زبری سطح قطعه کار قابل قبول است. مقدار R^2 برای تابع پاسخ سایش سطح براده ابزار ۹۶/۴۶٪ و برای زبری سطح قطعه کار ۹۹/۳۸٪ بدست آمد که نشان دهنده کیفیت بالای مدل توابع پاسخ می باشد. بنابراین از این مدل ها می توان جهت بررسی اثر پارامترها و نیز بهینه سازی فرآیند استفاده کرد. در شکل ۹ نمودار رویه پاسخ تاثیر پارامترهای سرعت پیشروی و برشی بر سایش سطح براده ابزار در مدت زمان ۴ دقیقه و عمق برش ۰/۶۲۵ نشان داده شده است. مطابق با شکل مشاهده

عبارت	درجه آزادی	P
رگرسیون	۱۴	۰/۰۰۰
خطی	۴	۰/۰۰۰
درجه دو	۴	۰/۰۱۲
اثر متقابل	۶	۰/۰۳۳

عبارت	درجه آزادی	P
رگرسیون	۱۴	۰/۰۰۰
خطی	۴	۰/۰۰۰
درجه دو	۴	۰/۰۰۰
اثر متقابل	۶	۰/۰۱۲

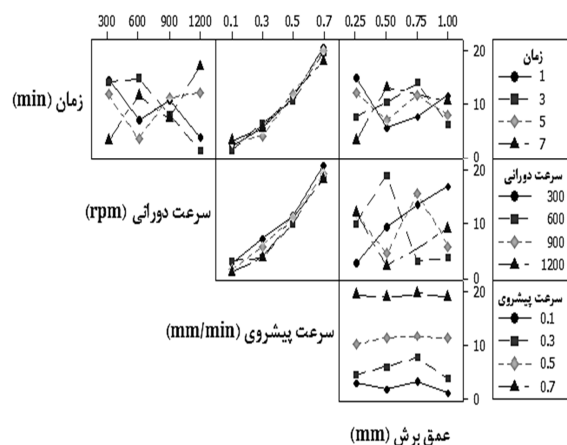


شکل ۶ تاثیر اصلی پارامترها بر زبری سطح قطعه کار



شکل ۷ تاثیر متقابل پارامترها بر سایش سطح براده ابزار

تاثیر متقابل پارامترها بر زبری سطح قطعه کار در شکل ۸ نشان داده شده است. مشاهده می شود که در تاثیر بر زبری سطح قطعه کار، مدت زمان با سرعت برشی و عمق برش با سرعت برشی و عمق برش با مدت زمان تاثیر متقابل دارند. به طور مثال در مدت زمان های مختلف، تاثیر سرعت برشی بر زبری سطح قطعه کار متفاوت بوده اما پارامترهای زمان و سرعت پیشروی تاثیر متقابل ندارند، زیرا با افزایش سرعت پیشروی در مدت زمان های مختلف زبری سطح قطعه کار افزایش می یابد.



شکل ۸ تاثیر متقابل پارامترها بر زبری سطح قطعه کار

جدول ۵ مقادیر بهینه پارامترهای ورودی و خروجی		
پارامتر	مقدار بهینه	
زمان عملیات (min)	۷	ورودی
سرعت دورانی (rpm)	۳۰۰	
سرعت پیشروی (mm/min)	۰/۱۰	
عمق برش (mm)	۰/۶۹۷۰	
سایش ابزار (μm)	۲۴/۴۷۱۸	خروجی
زبری سطح (μm)	۳/۸۴۸۶	

D بهینه	زمان (min)		سرعت دورانی (rpm)		سرعت پیشروی (mm/min)		عمق برش (mm)	
	زیاد	کم	۱۲۰۰/۰	۳۰۰/۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۶۹۷۰	۰/۲۵۰
مطلوبیت ترکیبی								
۰/۹۵۲۳۰								
سایش ابزار								
حد اقل								
$y = 24/4718$ $d = 0/84965$								
زبری سطح								
حد اقل								
$y = 3/8486$ $d = 1/0000$								

شکل ۱۱ نتایج بهینه‌سازی به روش تابع مطلوبیت

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر پارامترهای سرعت پیشروی، عمق برش، مدت زمان و سرعت برشی بر سایش سطح براده ابزار و زبری سطح قطعه‌کار در فرآیند ماشین‌کاری فولاد ۴۱۴۰ با روش‌های رویه پاسخ و تابع مطلوبیت، مدل‌سازی و بهینه‌سازی شد. نتایج حاصل را می‌توان بصورت زیر جمع بندی کرد:

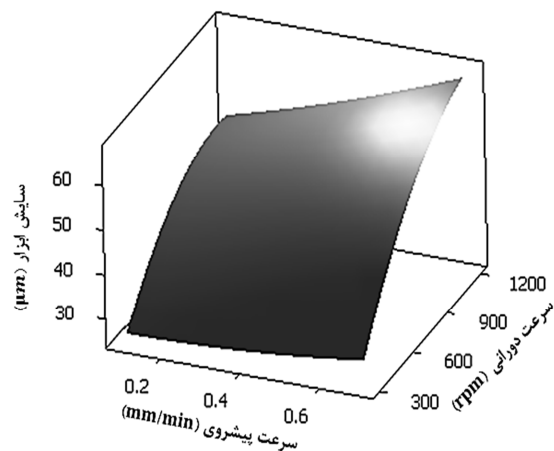
- ۱- در مدل‌سازی فرایند، مقادیر احتمال P و ضریب R^2 بیانگر انطباق خوب مدل‌ها با داده‌ها و کفایت بالای مدل‌ها است.
- ۲- با بهینه‌سازی مقادیر پارامترهای ورودی، مقدار سایش کمینه ۲۴/۴ میکرون و زبری سطح کمینه ۳/۸ میکرون حاصل شد.
- ۳- بررسی اثر پارامترها نشان می‌دهد که با افزایش سرعت برشی و پیشروی، سایش سطح براده ابزار افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زمان عملیات سایش به مقدار کمی افزایش یافته و با افزایش عمق برش، مقدار کمی کاهش و سپس افزایش می‌یابد.
- ۴- از لحاظ تاثیر متقابل پارامترها در تاثیر بر زبری سطح قطعه‌کار، مدت زمان با سرعت برشی و عمق برش با سرعت برشی و عمق برش با مدت زمان تاثیر متقابل دارند.
- ۵- با افزایش سرعت پیشروی زبری سطح قطعه‌کار افزایش می‌یابد و با افزایش سرعت برشی، کمی کاهش می‌یابد و تاثیر عمق برش و مدت زمان محسوس نیست.
- ۶- در تاثیر بر سایش سطح براده ابزار، سرعت برشی با سرعت پیشروی تاثیر متقابل ندارند ولی در بقیه حالت‌ها تاثیر متقابل مشاهده می‌شود.

۶- مراجع

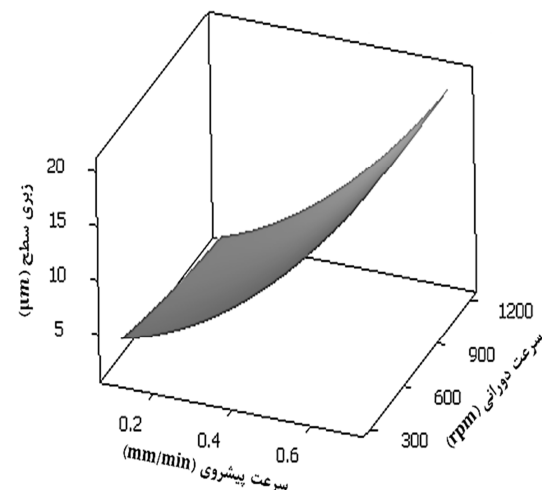
- [1] D.E. Dimla, P.M. Lister, On-line metal cutting tool condition monitoring. I: force and vibration analyses, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, pp. 739-768, 2000.

می‌شود که با افزایش سرعت پیشروی و برشی، سایش سطح براده ابزار افزایش می‌یابد و تاثیر سرعت برشی بر سایش شدیدتر است. در شکل ۱۰ رویه پاسخ زبری سطح قطعه‌کار برای دو پارامتر سرعت پیشروی و برشی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت پیشروی زبری سطح قطعه‌کار افزایش می‌یابد.

با مدل‌سازی قابل قبول توابع پاسخ برحسب پارامترهای ماشین‌کاری، مقادیر این پارامترها برای کمینه‌سازی سایش ابزار و زبری سطح قطعه با روش تابع مطلوبیت بهینه‌سازی شد. در بهینه‌سازی چند هدفه با توجه به اهمیت هر یک از توابع هدف نقاط بهینه متعددی وجود دارد. برای درجه اهمیت ۳۰٪ و ۷۰٪ به ترتیب برای سایش ابزار و زبری سطح، نتایج حاصل از بهینه‌سازی، در شکل ۱۱ نشان داده شده است. تغییرات توابع پاسخ و تابع مطلوبیت کل برحسب پارامترها در شکل ۱۱ نشان داده شده است. مطابق با شکل مشخص است که درجه مطلوبیت نقطه بدست آمده ۰/۹۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان نقطه بهینه را به‌عنوان نقطه مورد قبول انتخاب کرد. در جدول ۵ مقادیر بهینه بدست آمده برای پارامترهای ورودی و خروجی نشان داده شده است.



شکل ۹ رویه پاسخ تاثیر سرعت پیشروی و دورانی بر سایش سطح براده ابزار



شکل ۱۰ رویه پاسخ زبری سطح قطعه‌کار برای دو پارامتر سرعت پیشروی و دورانی

- life measurements for optimal tool management, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 359-368, 2003.
- [7] S.E. Oraby, D.R. Hayhurst, Tool life determination based on the measurement of wear and tool force ratio variation, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 44, pp. 1261-1269, 2004.
- [8] N.R. Dhar, S. Paul, A.B. Chattopadhyay, Machining of AISI 4140 steel under cryogenic cooling-tool wear, surface roughness and dimensional deviation, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 123, No. 3, pp. 483-489, 2002.
- [9] Minitab software, V16, user's guide, technical manual, 2013.
- [10] B. Davoodi, B. Eskandari, Investigation of tool life and wear mechanisms in turning of N-155 iron-nickel-base superalloy using response surface methodology, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 14, No.15, pp. 51-58, 2015. (In Persian)
- [2] R. Teti, K. Jemielniak, G. O'Donnell, D. Dornfeld, Advanced monitoring of machining operations, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 59, No. 2, pp. 717-739, 2010.
- [3] J.D. Thiele, S.N. Melkote, R.A. Peascoe, T.R. Watkins, Effect of cutting-edge geometry and workpiece hardness on surface residual stresses in finishhard turning of AISI 52100 steel, *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 122, pp. 642-649, 2000.
- [4] P. Palanisamy, I. Rajendran S. Shanmugasundaram, Prediction of tool wear using regression and ANN models in end milling operation, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 37, pp. 29-41, 2007.
- [5] P.W. Prickett, C. Johns, An over view of approaches to end milling tool monitoring, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 39, No. 1, pp. 105-122, 1994.
- [6] Y. Kwon, G.W. Fischer, A novel approach to quantifying tool wear and tool